



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

21 Aktenzeichen: 198 36 240.4
22 Anmeldetag: 5. 8. 98
43 Offenlegungstag: 11. 2. 99

66 Innere Priorität:
197 34 787. 8 07. 08. 97

71 Anmelder:
Werner, Wilko, 13465 Berlin, DE

74 Vertreter:
Dres. Fitzner, Münch & Jungblut, Rechts- und
Patentanwälte Ratingen-Berlin, 10115 Berlin

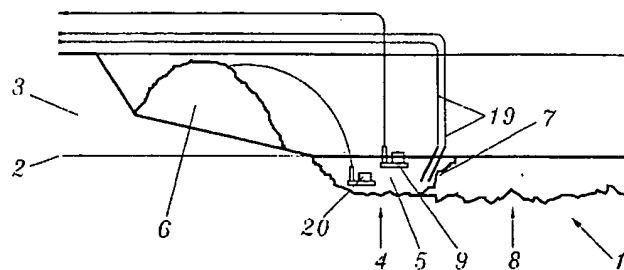
72 Erfinder:
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur on-site Reinigung von schadstoffhaltigen Bodenschichten in Grundwasser führenden Bodenformationen

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur on-site Reinigung von sich lateral erstreckenden, im Bereich Grundwasser führender Bodenformationen angeordneter schadstoffhaltigen Bodenschichten (1). Oberhalb der schadstoffhaltigen Bodenschicht (1) angeordnete, nicht schadstoffbelastete Bodenschichten (3) werden ausgekoffert und in zumindest einem Haufwerk on-site abgelegt. In einem ersten Teilbereich (4) der schadstoffhaltigen Bodenschicht wird ein Grubenwassersammelbecken (5) angelegt. Durch Eintrag von mechanischer Energie wird eine Fluidisierung des ersten Teilbereichs (4) der schadstoffhaltigen Bodenschicht (1) durchgeführt. Mit Schadstoffen belastetes Wasser aus dem Grubenwassersammelbecken (5) wird abgezogen und nach Abscheidung und/oder Abbau der Schadstoffe wieder eingeleitet oder in eine Kanalisation abgeleitet. Gereinigter Boden wird aus dem Grubenwassersammelbecken (5) abgezogen und in einem Prozeßboden-Haufwerk (6) abgelegt. Durch weiteren Eintrag von mechanischer Energie in einen seitlichen Rand (7) des Grubenwassersammelbeckens (5) wird sukzessive und lateral fortschreitend eine Fluidisierung weiterer Teilbereiche (8) der schadstoffhaltigen Bodenschicht (1) durchgeführt. Nach Behandlung der gesamten Bodenschicht (1) werden die erhaltenen Haufwerke (6) wieder eingebaut.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur on-site Reinigung von sich lateral erstreckenden, im Bereich Grundwasser führender Bodenformationen angeordneter schadstoffhaltigen Bodenschichten, wobei mit Schadstoffen beladenes Wasser aus der schadstoffhaltigen Bodenschicht abgezogen wird, wobei in Aufbereitungs- und/oder Reinigungsmodulen Schadstoffe aus dem abgezogenen Wasser abgetrennt, aufkonzentriert und entsorgt werden, und wobei die Reinigung der schadstoffhaltigen Bodenschicht lateral fortschreitend solange durchgeführt wird, bis die Bodenschicht von Schadstoffen praktisch frei ist. – Als on-site Reinigung ist bezeichnet die Reinigung von Böden vor Ort, das heißt, ohne Transport der zu reinigenden Böden zu entfernt liegenden Reinigungseinrichtungen. Sich lateral erstreckende schadstoffhaltige Bodenschichten kommen insbesondere dann vor, wenn die Bodenschicht im Grundwasserbereich liegt. Durch das Grundwasser werden die Schadstoffe im wesentlichen lateral mitgeführt und führen zu einem Schadensbild, welches aufgrund des räumlichen Kontaminationsprofils auch als Kontaminationslinse bezeichnet wird. Verunreinigungen von Bodenschichten, die im Bereich des Grundwasserspiegels angeordnet sind, sind aufgrund dieses Transportphänomens auch besonders kritisch, da durch den Transportprozeß die Gefahr einer Verunreinigung von Gebieten, aus welchen Trinkwasser gewonnen wird, stark erhöht ist. Daher sind im Falle solcher Verunreinigungen schnell wirkende Dekontaminationsverfahren erforderlich, zumindest jedoch besonders wünschenswert. Typische Schadstoffe sind insbesondere im Bereich von Tanklagern, Tankstellen, Raffinerien und Industriestandorten BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol), PAKW (polyaromatische Kohlenwasserstoffe), MKW (Mineralölkohlenwasserstoffe, insbesondere mittel- und niedrigsiedende), aber auch Phenole, LCKW (leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe), PCKW (polychlorierte Kohlenwasserstoffe, z. B. PCB's). Ein Boden wird als gereinigt bezeichnet, wenn sein Schadstoffgehalt unterhalb vorgegebener Grenzwerte liegt.

Ein Verfahren der eingangs genannten Art ist beispielsweise aus der Literaturstelle DE 39 04 328 C1 bekannt (andere sehr ähnliche Literaturstellen sind: WLB, Wasser, Luft, und Boden, 4/1990, Seiten 58 bis 61; DE 39 27 418 A1; DE 39 20 800 C1; DE 38 44 689 C2; DE 38 43 836 A1; DE 39 06 403 A1). Bei dem insofern bekannten Verfahren wird zunächst eine Immobilisierung der Schadstoffe dadurch eingerichtet, daß eine an der Unterseite offene Kammer in den Boden eingetrieben und im Wege der Injektion eines Dichtmittels danach basisseitig abgedichtet wird. Dann werden mittels Spülprozesse die Schadstoffe aus dem eingeschlossenen Bodenbereich ausgespült und abgetrennt. Eine Fluidisierung des Bodens findet dabei nicht statt. Teilweise kann auch die Zufuhr mechanischer Energie mittels Schwingungserzeuger vorgesehen sein. Insgesamt sind diese Verfahren relativ langwierig, weshalb auch die Maßnahmen zur Immobilisierung erforderlich sind. Zudem sind sie sehr aufwendig und folglich kostenaufwendig.

Aus der Literaturstelle DE 36 07 471 A1 ist ein Verfahren bekannt, in dessen Rahmen eine Suspensierung der Feinteile mittels eines Suspensierungsmittels und Abzug der Feinteile erfolgt. Hierdurch wird jedoch das Bodengefüge empfindlich gestört.

Weiterhin sind eine Vielzahl von Verfahren bekannt, bei welchen mittels sogenannter Injektionslanzen Reinigungsmittel, meist chemische Mittel, die den mikrobiellen Abbau von Schadstoffen fördern, und/oder biologische Mittel, nämlich schadstoffabbauende Mikroorganismen, in die kontaminierte Bodenschicht eingeleitet werden und ggf. Schad-

stoffe bzw. mikrobiologische Abbauprodukte mittels Absaugvorrichtungen abgezogen werden. Hierzu wird beispielsweise auf die Literaturstellen DE 43 14 517 A1 und WO95/22375 verwiesen. Wenn die verunreinigte Bodenschicht im Bereich des Grundwasserspiegels liegt, werden dann zusätzlich hydraulische Maßnahmen (lokale Grundwasserabsenkung mittels Brunnen) abströmungsseitig der Kontaminationslinse eingerichtet (siehe z. B. WO95/22375). All diesen Verfahren ist gemeinsam, daß der Abbau der Schadstoffe relativ langsam von statten geht und zudem ständige Überwachungseinrichtungen zur Langzeitverfolgung des Schadstoffabbaus benötigt werden. Eine schnelle Sanierung ist mit den insofern bekannten Verfahren nicht möglich, insbesondere wenn innerhalb kurzer Zeit die gesetzlichen Grenzwerte erreicht werden sollen.

Aus der Literaturstelle DE 44 16 591 C1 ist aus anderen Zusammenhängen, nämlich der Sanierung kontaminierter Sedimente von Gewässerboden, ein Verfahren bekannt, bei welchem das Sediment mittels einer Mammutpumpe zu einer Schwimmplattform geleitet, dabei fluidisiert und nach Abtrennung von Leichtstoffen und leicht flüchtigen Stoffen wieder dem Gewässerboden zugeleitet wird. Eine Abscheidung von nichtflüchtigen Nicht-Leichtstoffen findet jedoch nicht statt.

Demgegenüber liegt der Erfindung das technische Problem zugrunde, ein Verfahren zur Reinigung von schadstoffhaltigen Bodenschichten, welche im Bereich des Grundwasserspiegels liegen, anzugeben, das schnell und mit wenig Aufwand durchzuführen ist, und dennoch innerhalb kurzer Zeit allen umwelttechnischen Anforderungen genügende Reinigungsergebnisse liefert.

Zur Lösung dieses technischen Problems lehrt die Erfindung Verfahren zur on-site Reinigung von sich lateral erstreckenden, im Bereich Grundwasser führender Bodenformationen angeordneter schadstoffhaltigen Bodenschichten, wobei oberhalb der sich lateral erstreckenden schadstoffhaltigen Bodenschicht angeordnete, nicht schadstoffbelastete Bodenschichten zunächst ausgekoffert und in zumindest einem Haufwerk on-site abgelegt werden, wobei in einem ersten Teilbereich der schadstoffhaltigen Bodenschicht ein Teil der schadstoffhaltigen Bodenschicht ausgehoben und durch anströmendes Grundwasser und/oder durch hiervon separates Einbringen von Wasser ein Grubenwassersammelbecken angelegt wird, wobei durch Eintrag von mechanischer Energie in das Grubenwassersammelbecken sowie in schadstoffhaltigen Boden im Rand- und/oder Bodenbereich des Grubenwassersammelbeckens eine Fluidisierung eines zweiten Teilbereichs der schadstoffhaltigen Bodenschicht durchgeführt wird und hierbei Schadstoffe von Bodenkörnern mechanisch und/oder biologisch und/oder chemisch abgelöst und in die wäßrige Phase überführt werden, und/oder für biologischen und/oder chemischen Abbau an Bodenkörnern aufgeschlossen werden, wobei mit Schadstoffen belastetes Wasser aus dem Grubenwassersammelbecken abgezogen wird, wobei die Schadstoffe in Aufbereitungs- und/oder Reinigungsmodulen aus dem Wasser abgeschieden aufkonzentriert und entsorgt werden, wobei nach Abscheidung und/oder Abbau der Schadstoffe das Wasser wieder in das Grubenwassersammelbecken eingeleitet und/oder in eine Kanalisation abgeleitet wird, wobei zumindest teilgereinigter Boden aus dem Grubenwassersammelbecken abgezogen und in einem Prozeßboden-Haufwerk außerhalb der mit Schadstoffen belasten Bodenschicht abgelegt wird, wobei durch weiteren Eintrag von mechanischer Energie in das Grubenwassersammelbecken sowie den Boden im Bereich eines seitlichen Randes des Grubenwassersammelbeckens sukzessive und lateral fortschreitend eine Fluidisierung dritter, vierter und so weiter Teilbereiche der schadstoffhal-

tigen Bodenschicht durchgeführt wird bei andauerndem Abzug von mit Schadstoffen belastetem Wasser, andauernder Wiedereinleitung und/oder Ableitung des Wassers nach Abscheidung und/oder Abbau der Schadstoffe und andauerndem Abzug gereinigten Bodens, wobei entweder nach Behandlung der gesamten, sich lateral erstreckenden, mit Schadstoffen belasteten Bodenschicht das Prozeßbodenhaufwerk wieder eingebaut wird, oder wobei gereinigter Boden aus dem Prozeßbodenhaufwerk dem lateralen Fortschritt der Fluidisierung nachlaufend und im wesentlichen gegenüberliegend (bezogen auf die laterale Erstreckung des Grubenwassersammelbeckens, im wesentlichen randseitig) sukzessive wieder in das Grubenwassersammelbecken eingebaut wird, wobei die Rückführung von gereinigtem Wasser bzw. die Zufuhr von Wasser (mit Ausnahme des anströmenden Grundwassers) mit der Maßgabe geregelt oder gesteuert wird, daß das Volumenverhältnis Boden zu Wasser im Grubenwassersammelbecken im Bereich von 4 : 1 bis 1 : 20 liegt. – Das Auskoffern nicht schadstoffhaltiger Bodenschichten kann mit Hilfe üblicher tiefbautechnischer Geräte, z. B. Bagger, erfolgen. Die Anlage eines Grubenwassersammelbeckens sollte vorzugsweise grundwasseranströmungsseitig erfolgen und kann beispielsweise durch Einleitung von Wasser in diesen Bereich gefördert werden. Je nach den Grundwasserverhältnissen kann sich ein Grubenwassersammelbecken auch selbstständig bilden. Der Eintrag mechanischer Energie und folglich die Fluidisierung des ersten Teilbereichs der schadstoffhaltigen Bodenschicht kann auf verschiedenste Weise erfolgen, im einfachsten Fall beispielsweise durch Bewegung mittels Bagger (Tieföffelbagger, ggf. mit Zusatzaggregaten wie Rotor oder dergleichen; Seilbagger), und/oder mit Baggerpumpen und/oder Spülrohren bzw. -lanzen. Als Abscheidung von Schadstoffen ist die physikalische bzw. physikalisch-chemische Trennung der Schadstoffe vom Wasser bezeichnet. Beispiele hierfür sind die Adsorption der Schadstoffe an Adsorbentien im Rahmen von Adsorptionskolonnen üblicher Bauart, die Absorption der Schadstoffe z. B. im Rahmen von Absorptionskolonnen, durch welche neben dem Wasser ein Medium, in dem die Schadstoffe eine besonders hohe Löslichkeit haben, geführt wird, Flotation, ggf. in Verbindung mit Flokulation, etc. Als Abbau von Schadstoffen ist die Zersetzung der Schadstoffe zu unschädlichen und/oder leicht abtrennbaren Zersetzungsprodukten bezeichnet. Dabei spielt im Rahmen der Erfindung der mikrobiologische Abbau von Schadstoffen mittels Mikroorganismen, insbesondere mittels natürlicherweise im Boden vorkommender Mikroorganismen, eine besondere Rolle. Als Mikroorganismen, die in der Lage sind organische Kontaminationen abzubauen, sind insbesondere zu nennen: aerobe Mikroorganismen aus den Gruppen der Pseudomona, Nocardia, Mykobakterien und Flavobakterien. Weiterhin kommen in Frage: Alkaligene, Corynebakterien, Clostridia. Auf diesem Wege erfolgt eine biologische Oxidation der Schadstoffe. Dieser mikrobiologische Abbau tritt automatisch ein, wenn die betreffenden Mikroorganismen im Grubenwassersammelbecken vorhanden sind, sei es natürlicherweise oder aufgrund ihrer Zufuhr. Bei der Ablage des Prozeßboden-Haufwerks versteht es sich, daß dieses nicht in Richtung des lateralen Fortschritts der Fluidisierung abgelegt wird, sondern vorzugsweise in entgegengesetzter Richtung in einem Randbereich, der oberhalb des Grundwasserspiegels liegt. Bei dem Wiedereinbau der erhaltenen Haufwerke empfiehlt es sich, diese in umgekehrter Reihenfolge und an den respektiven Stellen der Entnahme wieder einzubauen. Der anfänglich entnommene schadstoffbelastete Boden aus dem ersten Teilbereich der schadstoffhaltigen Bodenschicht kann entweder separat aufbereitet oder entsorgt werden oder im Laufe des Fortschritts der "wan-

dernden" Fluidisierung auf einmal oder nach und nach dem Grubenwassersammelbecken wieder zugeführt und so gereinigt und ggf. in das Prozeßbodenhaufwerk überführt werden. Der Boden des Prozeßhaufwerks kann auch nur teilgereinigt in dem Sinne sein, daß gesetzliche Grenzwerte zwar noch nicht unterschritten werden, dies jedoch durch die natürliche Aktivität von Mikroorganismen in dem Prozeßbodenhaufwerk während dessen Bestand erreicht wird. Dann empfiehlt es sich, insbesondere im Falle der "nachwandern" Wiedereinbringung des Prozeßbodenhaufwerks bei fortschreitender Fluidisierung die Orte des Anschüttens und der Wiederenahme von Prozeßboden so auszuwählen, daß stets eine geeignete mindeste Verweilzeit jeden Teils Prozeßboden im Bereich des Prozeßbodenhaufwerks eingerichtet ist, um die selbsttätige biologische Endreinigung jeden Teils des Prozeßbodenhaufwerks zu gewährleisten. Das Volumenverhältnis Boden zu Wasser im Grubenwassersammelbecken liegt bevorzugt im Bereich von 3 : 1 bis 1 : 5, weiterhin bevorzugt von 2 : 1 bis 1 : 3, höchstbevorzugt von 1,5 : 1 bis 1 : 2. Optimalerweise wird nahe bei 1 : 1 gearbeitet.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß eine beachtliche Beschleunigung der Bodenreinigung erreicht wird, wenn in-situ gleichsam ein chemischer/biochemischer Reaktor dadurch geschaffen wird, daß der Boden am Verunreinigungsort fluidisiert wird. Dabei kommt auch dem Eintrag mechanischer Energie besondere Bedeutung zu, da dadurch das Korngefüge aufgelöst und festhaftende Verunreinigungen an Kornoberflächen mittels der entstehenden beachtlichen Scherkräfte ab-, zumindest aber angelöst bzw. gelockert werden (Friktion). Diese Verunreinigungen werden somit mobilisiert und in die wäßrige Phase übertragen bzw. dort aufkonzentriert. Diese Effekte sind mittels lediglich in kontaminierte Böden eingebrachten Injektionslanzen etc. nicht oder nur in unmittelbarer Umgebung der Lanzen zu erreichen. Durch die erfindungsgemäßen Effekte wird aber auch der mikrobiologische Schadstoffabbau beachtlich gefördert, zumal im Zuge der Fluidisierung auch Sauerstoff für die aerobe Verstoffwechselung der Schadstoffe eingebracht wird. Zu diesem Zweck kann auch zusätzlich feinverteilte Luft in das Grubenwassersammelbecken eingeleitet werden. Schließlich ist ein wesentlicher Vorteil der Erfindung, daß das Bodengefüge bzw. die Bodenzusammensetzung nicht gestört bzw. zerstört wird. Mit anderen Worten ausgedrückt, der Boden im Bereich der Kontaminationslinie hat nach Abschluß des erfindungsgemäßen Verfahrens wieder praktisch die gleiche Struktur wie vor dessen Verunreinigung. Viele der vorstehenden Vorteile werden dadurch erreicht, daß bei dem Energieeintrag in das Grubenwassersammelbecken bzw. den Boden eine Homogenisierung von Boden, und zwar einschließlich der Mikroorganismen sowie Nährstoffangebot erfolgt.

Die Erfindung beruht auf der weiteren Erkenntnis, daß der dem Grubenwassersammelbecken entnommene Boden lediglich teilgereinigt zu sein braucht und dann in dem Prozeßboden-Haufwerk aufgrund der selbsttätigen biologischen Vorgänge, vermutlich durch den mechanischen Energieeintrag zusätzlich gefördert, innerhalb sehr kurzer Zeit den geforderten Reinheitsgrad erreicht. Weiterhin wesentlich ist, daß die Aufreinigung des Prozeßwassers aus dem Grubenwassersammelbecken ohne Zerstörung der Biologie, d. h. ohne Abtötung der Mikroorganismen erfolgt. Insbesondere ist die ansonsten übliche Aufsalzung bzw. Chloridisierung vermeidbar, was zur Störung der Biologie führen würde. Vielmehr kann eine regelrechte Milieupflege für die Mikroorganismen in allen Teilen der Systems, insbesondere in den Bioreaktoren, zwecks Restreinigung eingerichtet werden.

Grundsätzlich kann die lateral fortschreitende Fluidisierung diskontinuierlich, d. h. in diskreten, zeitlich aufeinander folgenden Arbeitsabschnitten erfolgen. Bevorzugt ist es aber, wenn die sukzessive und lateral fortschreitende Fluidisierung weiterer Teilbereiche der schadstoffhaltigen Bodenschicht (quasi-) kontinuierlich durchgeführt wird, d. h., daß der Eintrag der mechanischen Energie in den seitlichen Rand des Grubenwassersammelbeckens stetig fortschreitend erfolgt.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Einleitung mechanischer Energie in das Grubenwassersammelbecken mittels Spülrohre und/oder tiefbautechnischer Geräte, beispielsweise durch Bewegung mittels Baggerschaufeln oder spezieller, einen Rühreffekt erzeugender Baggerzusatzgerätschaften, durchgeführt wird.

Weiterhin bevorzugt ist es, wenn zumindest ein Teil des abgezogenen Wassers nach Abscheidung bzw. Abbau der Schadstoffe wieder in das Grubenwassersammelbecken eingeleitet wird, vorzugsweise über Spülrohre. Hierdurch wird einerseits ein ökonomisch vorteilhafter Wasserkreislauf eingerichtet. Wenn zusätzlich die Abscheidung bzw. der Abbau der Schadstoffe unter Bedingungen durchgeführt wird, die die Vermehrung von natürlichen, im Boden vorliegenden schadstoffabbauenden Mikroorganismen zumindest nicht hemmen, vorzugsweise fördern, so wird andererseits in dem Grubenwassersammelbecken bzw. dem Wasserkreislauf zudem eine beachtliche Anreicherung der Schadstoffe abbauenden Mikroorganismen erreicht mit der Folge eines nochmals beschleunigten Reinigungseffekts.

In besonderen Fällen, beispielsweise, wenn der Boden natürlicherweise wenig oder keine schadstoffabbauenden Mikroorganismen und/oder zum mikrobiologischen Abbau erforderliche Nährstoffe enthält, kann es sich empfehlen, in das Grubenwassersammelbecken chemische Hilfsstoffe und/oder schadstoffabbauende Mikroorganismen einzuleiten. Als chemische Hilfsstoffe sind insbesondere Nährstoffe für Mikroorganismen wie beispielsweise Nitrate, Harnstoff, Ammoniak und Stickoxide zu nennen.

Im einzelnen kann so gearbeitet werden, daß der Abzug mit Schadstoffen belasteten Wassers mit einer Skimmerpumpe und der Abzug gereinigten Bodens mit einer Baggerpumpe, und/oder einem Tieflöffelbagger (ggf. mit Zusatzaggregaten wie Rotor und dergleichen) und/oder Seilbagger durchgeführt wird.

Die Abscheidung bzw. der Abbau von Schadstoffen in dem abgezogenen Wasser wird bevorzugt so durchgeführt, daß das abgezogene, mit Schadstoffen belastete Wasser zunächst einem Absetzbehälter zugeleitet wird, daß der Überstand des Absetzbehälters beispielsweise mittels einer Förderpumpe einer Leichtstoffabscheidekolonne zugeleitet wird, daß abgeschiedene Leichtstoffe aus dem Kopfbereich der Leichtstoffabscheidekolonne entnommen und, vorzugsweise über einen Nachabscheider, in Entsorgungsbehälter eingeleitet werden, und daß somit von Leichtstoffen befreites, schadstoffhaltiges Wasser, ggf. über eine Vorlage und eine Druckpumpe, in zumindest einen Bioreaktor eingeleitet wird, wobei mittels in dem Bioreaktor vorliegender und/oder mit dem Wasser mitgeführter Mikroorganismen Schadstoffe abgebaut werden. In den Bioreaktoren tritt dabei mit fortschreitender Prozeßdauer eine beachtliche Anreicherung der schadstoffabbauenden Mikroorganismen ein. Den Bioreaktoren können dabei auch Nährstoffe für die Mikroorganismen zusätzlich zugeführt werden.

Besonders bevorzugt ist es, wenn die gesamte Menge an von Schadstoffen befreitem Wasser wieder über Spülrohre in das Grubenwassersammelbecken eingeleitet wird.

Schließlich betrifft die Erfindung auch eine Anlage zur

Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, mit Mitteln zur Fluidisierung von schadstoffhaltigen Bodenschichten, Mitteln zum Abzug von mit Schadstoffen belastetem Wasser aus dem Grubenwassersammelbecken, Mitteln zum Abzug gereinigten Bodens aus dem Grubenwassersammelbecken und Mitteln zur Abscheidung aus und/oder zum Abbau von Schadstoffen im abgezogenen Wasser. Die vorstehenden Ausführungen zum erfindungsgemäßen Verfahren gelten entsprechend.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 Einen Schnitt im Bereich einer schadstoffhaltigen Bodenschicht mit Einrichtungen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehene Einrichtungen zur Abscheidung und/oder zum Abbau von Schadstoffen in abgezogenem Wasser.

In der Figur erkennt man zunächst eine sich lateral erstreckende schadstoffhaltige Bodenschicht **1** im Bereich eines Grundwasserspiegels **2** Grundwasser führender Bodenformationen. Nicht dargestellt ist, daß oberhalb der sich lateral erstreckenden schadstoffhaltigen Bodenschicht **1** angeordnete, nicht schadstoffbelastete Bodenschichten **3** zunächst ausgekoffert und in zumindest einem Haufwerk on-site abgelegt worden sind.

In der **Fig. 1** erkennt man weiterhin, daß in einem ersten Teilbereich **4** der schadstoffhaltigen Bodenschicht **1** ein Grubenwassersammelbecken **5** angelegt ist. Dieses erstreckt sich im Beispiel **0,5–4 m**, vorzugsweise ca. **1,5 m** unterhalb des Grundwasserspiegels **2**. Üblicherweise wird das Grubenwassersammelbecken **5** dabei grundwasseranströmungsseitig angeordnet sein. Mittels Spülrohre **19** wird mechanische Energie in das Grubenwassersammelbecken **5** eingeleitet (Arbeitsdruck **2–50 Bar**, vorzugsweise ca. **8–10 Bar**) und eine Fluidisierung des ersten Teilbereichs **4** der schadstoffhaltigen Bodenschicht **1** durchgeführt (Wirbelbettbildung). Mit Schadstoffen belastetes Wasser wird aus dem Grubenwassersammelbecken **5** mit einer Skimmerpumpe **9** (Leistung **10–100 m³/h**, vorzugsweise ca. **40 m³/h**) abgezogen, und zwar aus dem oberflächennahen Bereich. Gereinigter Boden wird aus dem Grubenwassersammelbecken **5** mit einer Baggerpumpe **20** und/oder mit einem nicht dargestellten Tieflöffelbagger, Seilbagger oder dergleichen abgezogen (Feststoffanteil **2–40%**, vorzugsweise **10–15%**) und in einem Prozeßboden-Haufwerk **6** neben der mit Schadstoffen belasteten Bodenschicht **1** abgelegt.

Durch weiteren Eintrag von mechanischer Energie in einen seitlichen Rand **7** des Grubenwassersammelbeckens **5** mittels der Spülrohre **19** wird sukzessive und lateral fortschreitend eine Fluidisierung weiterer Teilbereiche **8** der schadstoffhaltigen Bodenschicht **1** durchgeführt bei andauerndem Abzug von mit Schadstoffen belastetem Wasser, andauernder Wiedereinleitung oder Ableitung des Wassers nach Abscheidung und/oder Abbau der Schadstoffe und andauerndem Abzug gereinigten Bodens.

Im einzelnen wird eine sukzessive und lateral fortschreitende Fluidisierung weiterer Teilbereiche **8** der schadstoffhaltigen Bodenschicht **1** kontinuierlich durchgeführt durch seitlichen Versatz der Spülrohre **19** in Richtung nach rechts in **Fig. 1**.

In der **Fig. 2** ist die Aufbereitung des abgezogenen Wassers in einzelnen entnehmbar. Das abgezogene, mit Schadstoffen belastete Wasser wird zunächst einem Absetzbehälter **10** (**2–100 m³**, vorzugsweise ca. **12 m³**) zugeleitet. Der Überstand des Absetzbehälters **10** wird mittels einer Förderpumpe **11** (Leistung ähnlich der Skimmerpumpe **9**) einer Leichtstoffabscheidekolonne **12** (Koaleszenzabscheider)

zugeleitet. Abgeschiedene Leichtstoffe werden aus dem Kopfbereich 13 der Leichtstoffabscheidekolonne 12 entnommen und über einen Nachabscheider 14 in Entsorgungsbehälter 15 eingeleitet. Im Nachabscheider 14 noch abgetrenntes Wasser wird dem Absetzbehälter 10 wieder zugeführt. Von Leichtstoffen befreites, schadstoffhaltiges Wasser wird über eine Vorlage 16 und eine Pumpe 17 (Leistung ähnlich der Skimmerpumpe, ggf. als Druckpumpe ausgeführt) in drei in Reihe geschaltete Bioreaktor 18 eingeleitet, wobei mittels in dem Bioreaktor vorliegender und/oder mit dem Wasser mitgeführter Mikroorganismen Schadstoffe abgebaut werden. Der Abbau der Schadstoffe erfolgt dabei unter Bedingungen, die die Vermehrung von natürlichen, im Boden vorliegenden schadstoffabbauenden Mikroorganismen zumindest nicht hemmen, vorzugsweise fördern. Dabei können den Bioreaktoren Mikroorganismen und/oder Nährstoffe für Mikroorganismen zugeführt werden. Aus dem linksseitigen Bioreaktor 18 (Fig. 2) wird praktisch sauberes Wasser entnommen und entweder einem Vorfluter zugeführt oder wieder, ggf. über eine auf den Arbeitsdruck der Spülrohre 7 abgestimmte Druckpumpe, durch die Spülrohre 19 in das Grubenwassersammelbecken 5 eingeleitet, wobei letzteres bevorzugt ist.

In das Grubenwassersammelbecken 5 können chemische Hilfsstoffe und/oder schadstoffabbauende Mikroorganismen eingeleitet werden.

Nicht in den Figuren gezeigt ist, daß nach Behandlung der gesamten, sich lateral erstreckenden, mit Schadstoffen belasteten Bodenschicht 1 die erhaltenen Haufwerke 6 wieder eingebaut werden. Nach Verfüllung kann beispielsweise im Zentrum ein Sicherungsbrunnen eingerichtet werden, um durch den gereinigten Boden sickern des Niederschlagswasser zu fassen und der noch vor Ort verbleibenden Reinigungsanlage nach Fig. 2 zuzuführen.

Das vorstehend erläuterte Verfahren wurde an einem Standort (Tankstelle) mit MKW-Kontaminationen im Grundwasserniveaubereich getestet. Die Untersuchungen zeigten, daß die Kontaminationen hauptsächlich in den Bereichen 2,8–3,4 m unter GOK vorlagen. Die laterale Ausdehnung betrug ca. 120 m². Chemische Analysen ergaben Schadstoffwerte von ca. 10000 bis über 22000 mg/kg TS (Trockensubstanz). Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wurde der mit Schadstoffen belastete Boden auf unter 200 mg/kg TS gereinigt (Grenzwert für Wiedereinbau: <1000 mg/kg TS). Ausgangsseitig der Bioreaktoren wurde im Wasser ein Schadstoffwert von nur <0,1 mg/l TS (Einleitwert für Wasser: <0,5 mg/l TS) gemessen. Zur Kontrolle des Sanierungserfolges wurde im Anschluß an den Wiedereinbau der Böden ein Kontrollbrunnen bis zu einer Tiefe von 6 m unter GOK errichtet. Entnommene Grundwasserproben ergaben MKW-Werte von <0,01 mg/l, was auch auf die weitere Wirkung der aktivierten bzw. angereicherten Mikroorganismen zurückzuführen sein dürfte.

Nicht dargestellt ist, daß das Grubenwassersammelbecken erforderlichenfalls zumindest teilweise durch Spundwände begrenzt und so mechanisch abgestützt sein kann. Weiterhin ist es möglich, in das Grubenwassersammelbecken einen oder mehrere Brunnen zwecks Absenkung des Grundwasserspiegels einzurichten. Schließlich können im Böschungsbereich des Grubenwassersammelbeckens Spüllanzen eingesetzt werden zur Mobilisierung von (Teil-) Kontaminationen oberhalb des Grundwasserspiegels und außerhalb des Grubenwassersammelbeckens.

Patentansprüche

1. Verfahren zur on-site Reinigung von sich lateral erstreckenden, im Bereich Grundwasser führender Bo-

denformationen angeordneter schadstoffhaltigen Bodenschichten (1),

wobei oberhalb der sich lateral erstreckenden schadstoffhaltigen Bodenschicht (1) angeordnete, nicht schadstoffbelastete Bodenschichten (3) zunächst ausgekoffert und in zumindest einem Haufwerk on-site abgelegt werden,

wobei in einem ersten Teilbereich (4) der schadstoffhaltigen Bodenschicht ein Teil der schadstoffhaltigen Bodenschicht (1) ausgehoben und durch anströmendes Grundwasser und/oder durch hiervon separates Einbringen von Wasser ein Grubenwassersammelbecken (5) angelegt wird,

wobei durch Eintrag von mechanischer Energie in das Grubenwassersammelbecken (5) sowie in schadstoffhaltigen Boden im Rand- und/oder Bodenbereich des Grubenwassersammelbeckens (5) eine Fluidisierung eines zweiten Teilbereichs (8) der schadstoffhaltigen Bodenschicht (1) durchgeführt wird und hierbei Schadstoffe von Bodenkörnern mechanisch und/oder biologisch und/oder chemisch abgelöst und in die wäßrige Phase überführt werden, und/oder für biologischen und/oder chemischen Abbau an Bodenkörnern abgeschlossen werden,

wobei mit Schadstoffen belastetes Wasser aus dem Grubenwassersammelbecken (5) abgezogen wird, wobei die Schadstoffe in Aufbereitungs- und/oder Reinigungsmodulen (18) aus dem Wasser abgeschieden, aufkonzentriert und entsorgt werden, wobei nach Abscheidung und/oder Abbau der Schadstoffe das Wasser wieder in das Grubenwassersammelbecken (5) eingeleitet und/oder in eine Kanalisation abgeleitet wird,

wobei zumindest teilgereinigter Boden aus dem Grubenwassersammelbecken (5) abgezogen und in einem Prozeßboden-Haufwerk (6) außerhalb der mit Schadstoffen belasteten Bodenschicht (1) abgelegt wird,

wobei durch weiteren Eintrag von mechanischer Energie in das Grubenwassersammelbecken (5) sowie den Boden im Bereich eines seitlichen Randes (7) des Grubenwassersammelbeckens (5) sukzessive und lateral fortschreitend eine Fluidisierung dritter, vierter und so weiter Teilbereiche (8) der schadstoffhaltigen Bodenschicht (1) durchgeführt wird bei andauerndem Abzug von mit Schadstoffen belasteten Wassers, andauernder Wiedereinleitung und/oder Ableitung des Wassers nach Abscheidung und/oder Abbau der Schadstoffe und andauerndem Abzug gereinigten Bodens,

wobei entweder nach Behandlung der gesamten, sich lateral erstreckenden, mit Schadstoffen belasteten Bodenschicht (1) das Prozeßbodenhaufwerk (6) wieder eingebaut wird, oder wobei gereinigter Boden aus dem Prozeßbodenhaufwerk (6) dem lateralen Fortschritt der Fluidisierung nachlaufend und im wesentlichen gegenüberliegend (bezogen auf die laterale Erstreckung des Grubenwassersammelbeckens (5), im wesentlichen randseitig) sukzessive wieder in das Grubenwassersammelbecken (5) eingebaut wird,

wobei die Rückführung von gereinigtem Wasser bzw. die Zufuhr von Wasser (mit Ausnahme des anströmenden Grundwassers) mit der Maßgabe geregelt oder gesteuert wird, daß das Volumenverhältnis Boden zu Wasser im Grubenwassersammelbecken (5) im Bereich von 4 : 1 bis 1 : 20 liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die sukzessive und lateral fortschreitende Fluidisierung weiterer Teilbereiche (8) der schadstoffhaltigen Bodenschicht (1) kontinuierlich durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Ein-

leitung mechanischer Energie in das Grubenwassersammelbecken (5) mittels Spülrohre (19) oder Tieflopfelbagger oder Seilbagger durchgeführt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei zumindest ein Teil des abgezogenen Wassers nach Abscheidung bzw. Abbau der Schadstoffe über Spülrohre wieder in das Grubenwassersammelbecken (5) eingeleitet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei in das Grubenwassersammelbecken (5) chemische Hilfsstoffe aus der Gruppe "Nitrate, Harnstoff, Ammoniak und Stickoxide" und/oder schadstoffabbauende Mikroorganismen eingeleitet werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Abzug mit Schadstoffen belasteten Wassers mit einer Skimmerpumpe (9) und der Abzug gereinigten Bodens mit einer Baggerpumpe (20) durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das abgezogene, mit Schadstoffen belastete Wasser zunächst einem Absetzbehälter (10) zugeleitet wird, wobei der Überstand des Absetzbehälters (10) beispielsweise mittels einer Förderpumpe (11) einer Leichtstoffabscheidekolonne (12) zugeleitet wird, wobei abgeschiedene Leichtstoffe aus dem Kopfbereich (13) der Leichtstoffabscheidekolonne (12) entnommen und, vorzugsweise über einen Nachabscheider (14), in Entsorgungsbehälter (15) eingeleitet werden, wobei somit von Leichtstoffen befreites, schadstoffhaltiges Wasser, ggf. über eine Vorlage (16) und eine Druckpumpe (17), in zumindest einen Bioreaktor (18) eingeleitet wird und wobei mittels in dem Bioreaktor vorliegender und/oder mit dem Wasser mitgeführter Mikroorganismen Schadstoffe abgebaut werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Abscheidung bzw. der Abbau der Schadstoffe unter Bedingungen durchgeführt wird, die die Vermehrung von natürlichen, im Boden vorliegenden schadstoffabbauenden Mikroorganismen zumindest nicht hemmen, vorzugsweise fördern.

9. Anlage zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, mit Mitteln zur Fluidisierung (19) von schadstoffhaltigen Bodenschichten (1), Mitteln zum Abzug von mit Schadstoffen belastetem Wasser (9) aus dem Grubenwassersammelbecken (5), Mitteln zum Abzug gereinigten Bodens (20) aus dem Grubenwassersammelbecken (5) und Mitteln zur Abscheidung aus und/oder zum Abbau von Schadstoffen im abgezogenen Wasser (10-18).

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

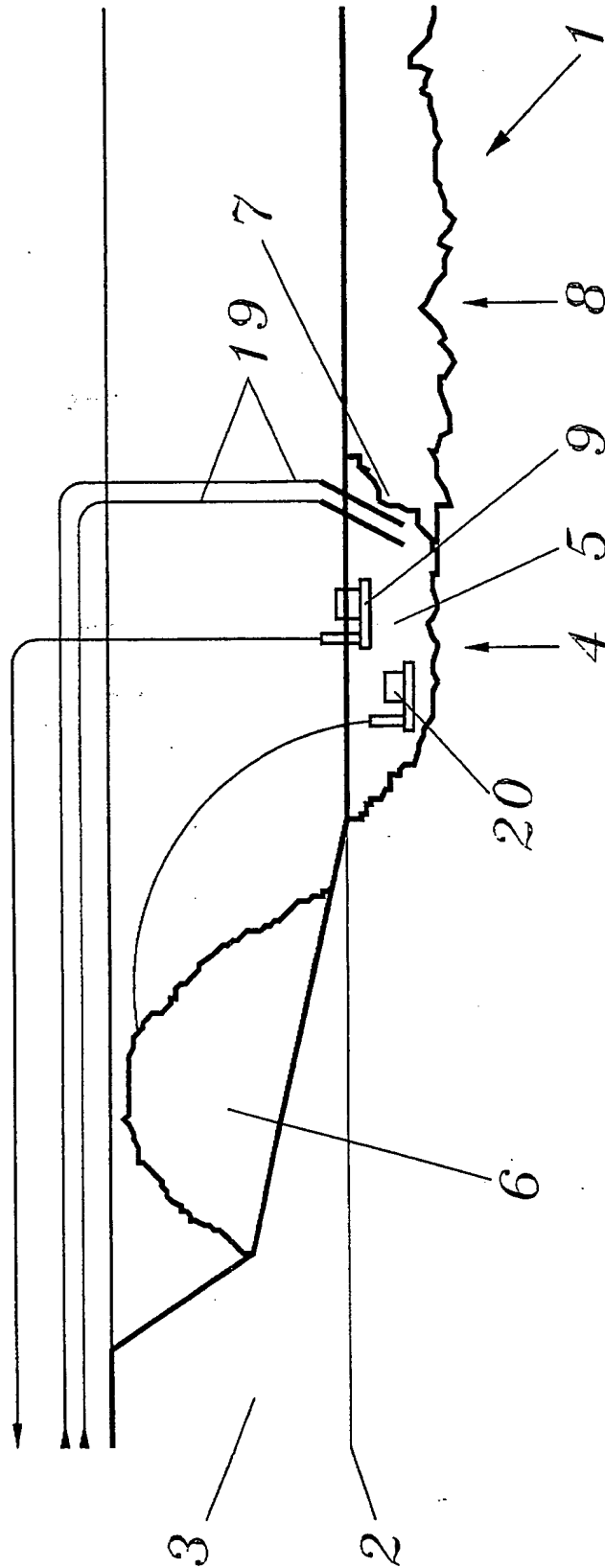


FIG. 1

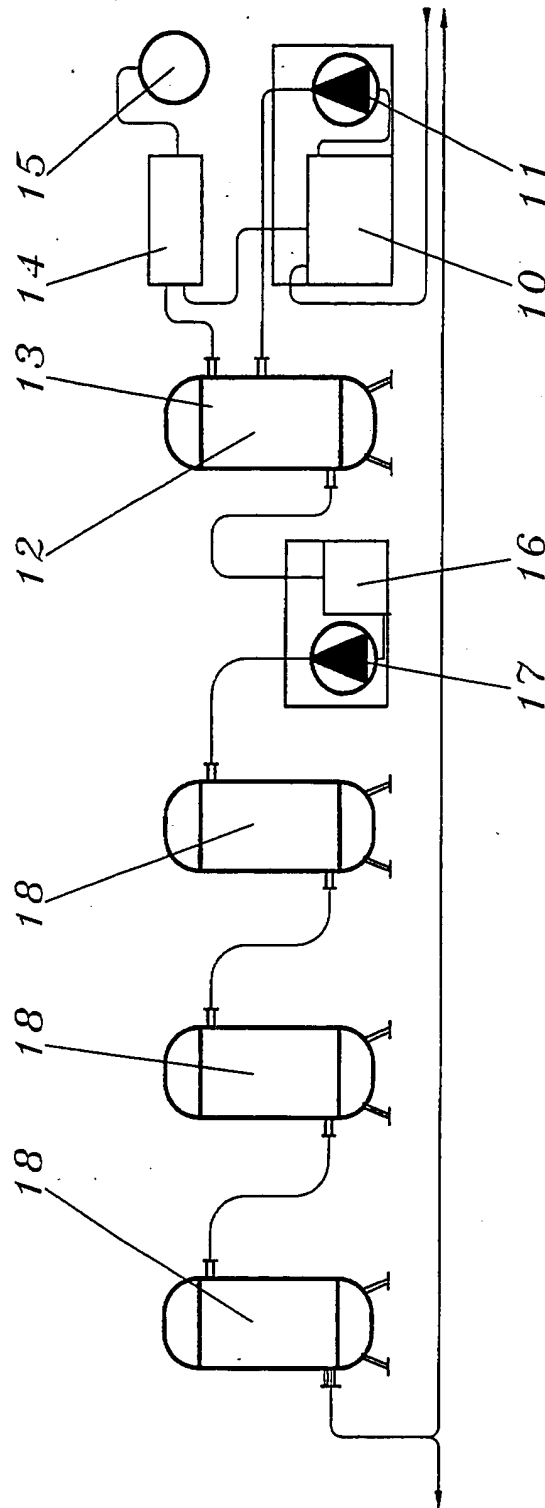


FIG. 2